

V-35

積雪寒冷地における舗装体温度の変動に関する研究

北海学園大学工学部 正員 武市 靖

1. まえがき

舗装体内部の温度に関する研究は多いが、積雪寒冷地の凍結をも考慮した路床よりかなり深部の地温を含む舗装体温度に関する研究は少ない。そこで、本研究は地温を含む一年を周期とする舗装体温度の年変動と比較的浅い部分での日変動について、深さ方向の分布と時間的な推移から検討を加えてみたものである。解析に際しては、旭川の試験舗装区間での道路センター部における深さ4cm～6mの計測データを用いた。

2. 試験概要

試験舗装区間は総延長20mで、5m間隔で凍上対策を考慮した置換工法、断熱工法による舗装構造各2断面、計4断面が施工されており、そのうち本文でとりあげた置換工法断面の舗装構成、温度計測用の熱電対の埋設位置は図-1に示す通りである。温度はデータロガーにより1時間間隔で計測し、データはフロッピーディスクに転送し1か月単位で収納した。冬期間における車道の路面積雪状態は12月初旬から長期積雪（根雪）になり、12月～2月は圧雪層3～6cm、氷板1～3cmで3月の中旬頃には路面がほぼ露出している。

3. 計測データの解析結果と考察

3.1 年変動

図-1は月平均による気温と各深さの舗装体温度の年変動を示したもので、これらは舗装構造や供用性の評価における環境因子として用いられる場合が多い。各曲線は毎時計測のデータから算出した月平均値をフーリエ級数で近似したものである。舗装体温度の年変動を時間の関数 $F(t)$ とすると、 $F(t)$ は次のように展開できる。 $F(t)=A_0+A_1\cos\omega t+B_1\sin\omega t+A_2\cos 2\omega t+B_2\sin 2\omega t+\dots+A_n\cos n\omega t+B_n\sin n\omega t=C_0+C_1\cos(\omega t-P_1)+C_2\cos(2\omega t-P_2)+\dots+C_n\cos(n\omega t-P_n)$ 、ただし、 $\omega=2\pi/T$ ($T=12$ Months), $P_n=\tan^{-1}(B_n/A_n)$, $C_0=A_0$, $C_n=A_n^2+B_n^2$; 各曲線は第4項までの展開式($n=3$)によるもので、 C_0 は年平均値、 C_1, C_2, C_3 はそれぞれ1年周期、半年周期、1/3年周期の変動の振幅、すなわち最大・最小の較差の半分を示すものである。表-1には第3項までのフーリエ係数を示した。月平均値と各曲線との近似度については、変動の大きい表層部は8月で3℃程度低目になっているが、全体に良く近似しているといえる。月平均による舗装体温度の年較差は4cmの深さで40℃と大きい、6mの地温の年較差は2.5℃で非常に小さく、ほぼ半年にわたる地温の変化が問題となる凍結深さの推定において、境界条件の点から不易層に準じた深さと考えることができる。一方、年平均温度(C_0)は各深さとも9～10℃で、その違いは

3.2 日変動と日較差

舗装体温度の日変動の較差は年較差と同様に深くなるにしたがい減衰するので、舗装表面における日較差を y_0 ℃、 x cmの深さのそれを y ℃とすると、一般に両者の関係は指数関数の回帰式 $y=y_0\exp(-ax)$ で表わすことができる。図-2は日較差の大きい8月と、逆に小さい1月について日較差の減衰と深さとの関係を示したものである。この回帰式から月平均の日較差(M)が0.5℃以下になる深さを求めると1月で50～60cm、8月で70～80cmになり、標準偏差

	C_0	C_1	C_2	P_1	P_2
気温	4.70	15.21	1.21	-0.08	-0.89
4cm	10.01	19.14	0.93	-0.15	-1.25
9cm	9.92	18.45	0.87	-0.13	-1.22
21cm	9.86	17.89	0.83	-0.10	-1.18
51cm	9.65	15.10	0.58	0.02	-1.13
66cm	9.57	14.16	0.49	0.06	-1.16
89cm	9.41	12.06	0.35	0.18	-1.34
128cm	9.10	8.96	0.30	0.36	-1.37
143cm	9.03	8.23	0.29	0.41	-1.26
165cm	8.99	7.28	0.28	0.47	-1.06
200cm	9.04	6.33	0.24	0.56	1.25
400cm	9.16	3.19	0.67	1.09	1.00
600cm	9.55	1.24	0.17	-1.21	-0.98

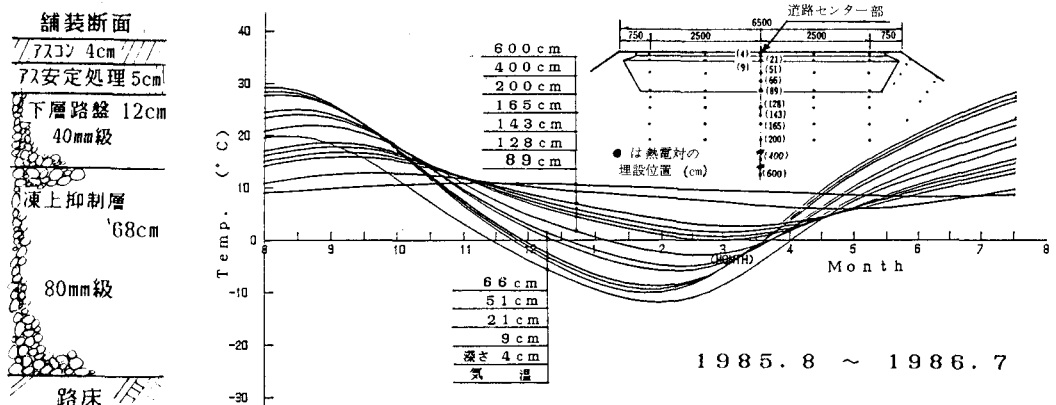


図-1 舗装断面とフーリエ級数で近似した気温及び舗装体温度の年変動

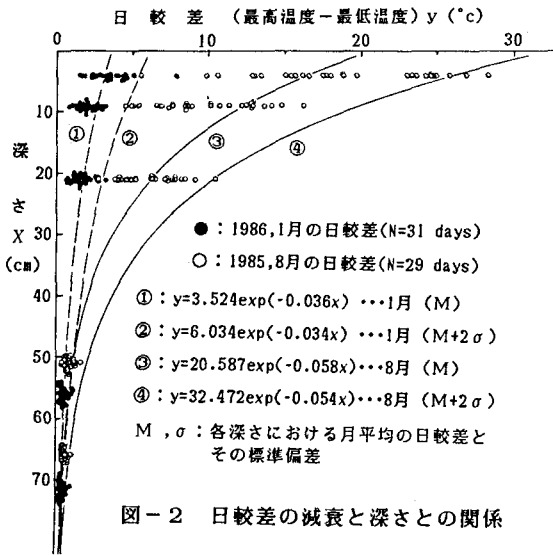


図-2 日較差の減衰と深さとの関係

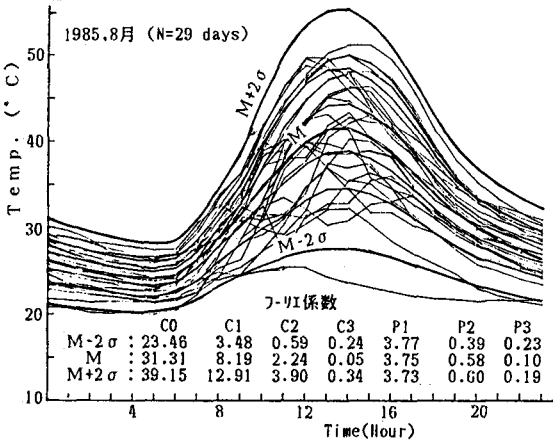


図-4 1月と8月における表層部（深さ4 cm）温度の日変動

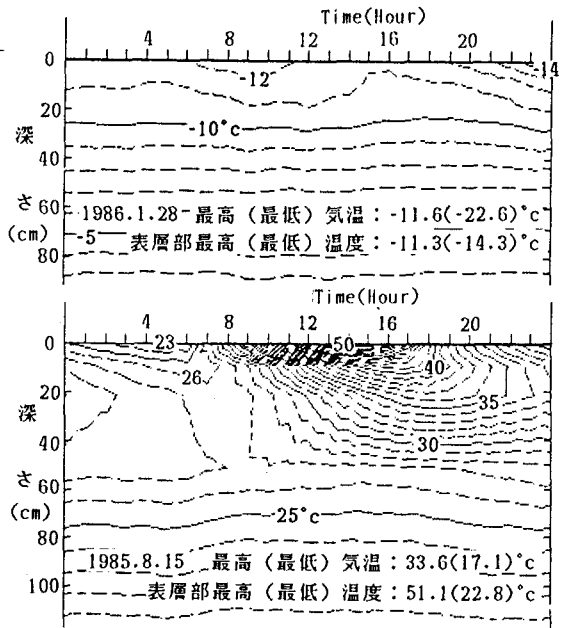
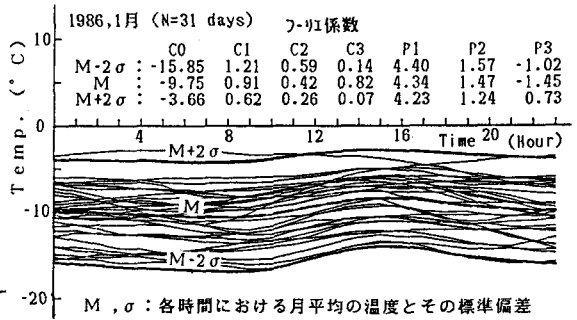


図-3 1月と8月における等地温線図



M, σ : 各時間における月平均の温度とその標準偏差

(σ) の2倍の変動 (M+2σ) を考慮しても日較差は1°C以内におさまる、この深さは日変化がほとんど入り込まない断熱境界と考えることができる。図-3は8月と1月の表層部温度の日較差が大きい日の道路センター部における等地温線図である。横軸に時間、縦軸に深さをとり、ある時間に計測したある深さの温度の等しい点を結んだものである。この図を見ると、時間の経過とともに日中の舗装体温度の暖域と早朝の冷域が舗装体内に進入する状態及び日変化がどれほど深く入るかがわかる。特に、8月は1月と比較すると日変化の入り込む深さが2倍以上で、表層からその深さまでの温度勾配は約3倍になっており、夏と冬では舗装体の温度分布とその時間的な変化は著しく異なる。これを日変動の点から見たのが図-4で、この図は表層（深さ4 cm）における1月と8月の1か月間の日変動を調べ、更に各時間に対する温度の平均値 (M) とその標準偏差 (σ) の2倍の変動 (M-2σ, M+2σ) を考えた場合の日変動をフーリエ展開しプロットしたものである。8月はσがおおよそ2°C(5:00)から7°C(14:00)になり、時間によって変動量が大きく異なるのに対し、1月ではσが1日中2.8°C程度でその変化はほとんど見られない。これは、冬期間、日射量が少なくしかも路面積雪により、舗装面での熱収支に影響を与える放射収支量、大気と舗装面の温度差による顕熱交換量、地中伝導熱流量等の諸量が夏に比較して時間的に大きく変動しないためであると考えられる。一まとめに積雪寒冷地における舗装体温度と地温の年変化、日変化の及ぶ深さ及びその時間的な変動量等、熱伝導論による温度分布の理論推定における内部の境界条件について、実験式や理論値等で示すことができた。今後は、路面積雪を含む道路気象条件を考慮した舗装表面での境界条件を検討する必要がある。

参考文献: Dempsey, Thompson: A Heat Transfer Model For Evaluating Frost Action and Temperature-Related Effects in Multilayered Pavement System, HRR No342, 1970.